

мерных смесей – вводить в смесь небольшие количества третьего полимера со значительно более высокой диэлектрической проницаемостью.

Таким образом, привлечение общей электромагнитной теории молекулярных сил для расчета силы взаимодействия двух конденсированных тел позволяет прогнозировать прочность полимерных смесей.

Л и т е р а т у р а

1. Кулезнев, В. Н. Смес и сплавы полимеров / В. Н. Кулезнев. – СПб. : Науч. основы и технологии, 2013. – 216 с.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – М. : Физматлит, 2004. – Т. 9. Статистическая физика. – Ч. 2. Теория конденсированного состояния. – 496 с.
3. Израелашвили, Дж. Межмолекулярные и поверхностные силы / Дж. Израелашвили. – М. : Науч. мир, 2011. – 457 с.

УДК 311.4

ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ, ПОСТУПАЮЩИХ НА ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

А. В. Лисицкий

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Дана оценка качества подшипников качения, поступающих на ОАО «Гомельский химический завод» для снижения риска появления аварийных ситуаций и, как следствие, улучшения технологического процесса.

Подшипники качения являются основным видом подшипников, используемых во вращающемся оборудовании. Они имеют преимущества по сравнению с подшипниками скольжения в низкооборотных машинах из-за более низких сил трения, а также в машинах небольшой мощности и стоимости (минимальные габариты и затраты на обслуживание).

Дефекты подшипников качения составляют около 60 % всех дефектов асинхронных двигателей. Поэтому техническое состояние подшипников является важнейшей составляющей, определяющей работоспособность механизма в целом. Различают заводские и эксплуатационные дефекты подшипников качения. К эксплуатационным дефектам относятся: бринелирование (наклеп); электротехническая эрозия; некруглость тел качения; овальность внутреннего кольца; трехвыпуклость внутреннего кольца; неравномерность зазоров между телами качения и кольцами (разные диаметры тел качения); повышенная волнистость колец и т. д.

К заводским дефектам, которые наиболее часто встречаются, можно отнести повышенную микроволнистость, что вызывает вибрацию в диапазоне больше 1000 Гц (50–60 % подшипников) и разноразмерность тел качения (4–5 %).

Вибрация – это один из наиболее информативных параметров, который может быть применен для оценки текущего технического состояния (ТС) оборудования. Обследование производится на работающем оборудовании, без нарушения производственного цикла, так как останов, визуальный осмотр и ревизия оборудования не всегда возможны и целесообразны. При этом значительно снижается вероятность возникновения аварийной ситуации, а ремонт проводится только тогда и там, где это действительно необходимо. При интенсивной вибрации увеличиваются динамические

нагрузки, интенсифицируется износ и повреждения деталей машин, снижаются качественные показатели продукции, например качество бумаги, вырабатываемой на бумагоделательных машинах. Одним из путей совершенствования технического обслуживания и ремонта оборудования с целью сокращения затрат на поддержание его в работоспособном состоянии является разработка и внедрение вибродиагностики. Вибрация является интегральным показателем качества.

При работе подшипника с дефектами на поверхностях качения в спектре вибрационного сигнала появляются характерные составляющие, гармоники, с собственными частотами, по которым можно достаточно корректно выявить место нахождения дефекта. Численные значения частот этих гармоник зависят от соотношения геометрических размеров элементов подшипника и, конечно, однозначно связаны с оборотной частоты вращения ротора контролируемого механизма.

В нагруженном подшипнике качения можно дифференцировать четыре основные, характерные, применяемые для диагностики частоты – гармоники. Это гармоники (от оборотной частоты) вызываются специфическими процессами на внешней обойме подшипника, на внутренней обойме подшипника связаны с работой сепаратора подшипника и с частотой вращения тел качения – шаров или роликов

Проведение безразборной диагностики подшипников качения при помощи виброизмерительных приборов требует наличия следующих условий:

1. Работающий подшипник должен быть нагружен радиальным (для радиально-упорных подшипников еще и осевым) усилием. Без нагрузки подшипника диагностика невозможна, так как дефект не генерирует своих признаков.

2. Расстояние от диагностируемого подшипника до измерительного вибродатчика, установленного снаружи на корпусе оборудования, должно быть небольшим, чтобы затухание вибрационных сигналов внутри корпуса не было критическим.

3. По вибрационным сигналам можно эффективно диагностировать подшипники, вращающиеся с частотой более 200 об/мин.

Контроль состояния подшипников качения может осуществляться на всех этапах их жизненного цикла: при изготовлении, сборке и выходном контроле на подшипниковых заводах, при входном контроле, на этапе монтажа и выходном контроле оборудования на машиностроительных и ремонтных заводах, при монтаже и во время эксплуатации оборудования, а также перед ремонтом и после ремонта на месте эксплуатации или на ремонтном предприятии. Контролироваться могут состав и свойства материала, геометрия элементов подшипника, состав и свойства смазки, величина и форма зазоров в подшипнике, его электрические свойства, температура, вибрация, воздушный шум и другие параметры. Оценка состояния подшипника в сборе и установленного в контролируемом оборудовании чаще всего производится по его вибрации, температуре и, в частности, подшипников с принудительной смазкой, по количеству продуктов износа в смазке.

Вибрационные методы диагностики подшипников качения дают наибольшее количество информации, особенно в случаях, когда имеется возможность контроля вибрации при непосредственном контакте датчика с неподвижными элементами подшипника, поэтому часто в таких случаях единственным контролируемым процессом в подшипнике становится его вибрация. Важнейшей проблемой, вибрационной диагностики подшипников становится разделение составляющих вибрации, возбуждаемых контролируемым подшипником и другими элементами установки, в составе которой работает этот подшипник.

Дефекты, выявляемые при использовании вибродиагностического оборудования: перекос наружного кольца, износ наружного кольца, раковины и трещины

на наружном кольце, износ внутреннего кольца, раковины и трещины на внутреннем кольце, износ тел качения и сепаратора, раковины и сколы на телах качения, дисбаланс ротора, дефекты узлов крепления, дефекты смазки, дефект муфты.

Исследования проводились на специальном стенде. Стенд состоит из станины, асинхронного электродвигателя, корпуса подшипника скольжения, который крепится болтами к станине. Вращение от двигателя на вал подшипника скольжения передается ременной передачей. На вал подшипника скольжения насаживаются оправки для каждого типоразмера подшипника качения. Внутреннее кольцо подшипника качения зажимается специальными дисками с гайкой. Наружное кольцо зажимается двумя рычагами. На стенде можно создавать радиальную и осевую нагрузку на подшипник качения. На наружное кольцо при помощи магнита крепится вибродатчик ускорения (5–5000 Гц или 5–20000 Гц). Сигнал с вибродатчика ускорения через усилитель заряда и согласующее устройство передается в компьютер. На стенде можно устанавливать однофазный или трехфазный асинхронный двигатель (в зависимости от места проведения эксперимента).

Поступающий от датчиков сигнал записывается в компьютере. Используя преобразование Фурье данный сигнал представляется в виде виброакустической характеристики. По оси абсцисс откладывается частота вибрации (Гц), а по оси ординат – амплитуда сигнала виброускорения в логарифмическом масштабе (Дб).

Специальная компьютерная программа позволяет выделять окна в спектре и изображать две виброакустические характеристики одновременно на экране. Для диагностируемого подшипника качения подбирают оправку. Поверхность оправки и внутреннего кольца протирают сухой чистой ветошью. После установки подшипников качения на диск оправки внутреннее кольцо зажимают к валу подшипника скольжения.

Полученные спектры вибрации можно анализировать специалисту, зная частоты вибрации различных дефектов или эти спектры можно обрабатывать при помощи специальной диагностической программы с выдачей протокола дефектов.

В ходе проведения исследования было проверено 36 подшипников следующих фирм: ГПЗ, ГПЗ23, Украина, FAG, СПЗ4, SKF, MPZ. Из опыта эксплуатации подшипниковых узлов определены уровни вибрации: 1,8 мм/с; 2,8 мм/с; 6,5 мм/с. Уровни вибрации для нового оборудования или после ремонта – 1,8 мм/с и 2,8 мм/с; 6,5 мм/с – это уровень вибрации, при котором оборудование выводится в ремонт. Качество подшипников качения оценивалось по уровню вибрации в диапазоне 0–500 Гц и 600–5000 Гц.

В диапазоне 0–500 Гц выявляются дефекты, обусловленные геометрией узлов подшипников качения: овальность внутреннего кольца, некруглость тел качения, разноразмерность тел качения, грубая обработка поверхности колец. Диапазон 600–5000 Гц – это класс точности обработки, микроволнистости колец и тел качения [1].

При уставке 6,5 мм/с (83 Дб ускорение) негодны для дальнейшей эксплуатации следующие подшипники 46309 – 4 шт. (ГПЗ23) и 1611 – 1 шт. (ГПЗ). У подшипников зарегистрирован уровень вибрации как у бывших в эксплуатации длительное время.

Была принята следующая классификация качества: годен, негоден, условно годен. «Условно годен» соответствует уровню вибрации больше 1,8 мм/с и меньше 2,8 мм/с. В этом случае эти подшипники качения можно ставить на механизмы, но необходимо отработать технологию замены смазки во время работы, не снимая подшипники качения. Это подшипники: 46307, 207 № 2 (MPZ), 310 № 1 (MPZ), 3014 № 1, № 2 (MPZ), 22218 № 1 (MPZ), 46318 № 1, № 2 (СПЗ4).

При уставке 2,8 мм/с годны к эксплуатации 53 %, не годны к эксплуатации – 47 % (диапазон 600–5000 Гц).

При уставке 1,8 мм/с годны к эксплуатации 44,4 %, не годны к эксплуатации – 36 %, условно годны – 19,6 %. Например, при уставке 1,8 мм/с в диапазоне 0–500 Гц годны 78 % выборки подшипников, а в диапазоне 600 – 5000 Гц годны 44 % подшипников. Так как это одни и те же подшипники, то принимаем годными к эксплуатации 44 % (16 шт.).

Диагностирование на стенде подшипников качения бывших в эксплуатации и новых показало, что в некоторых случаях можно «лечить» подшипники качения. Для этого на стенде создается радиальная нагрузка и применяется специальная смазка. Вибрация подшипников качения фирмы SKF изменяется в пределах 0,076 мм/с (44 Дб) и 0,24 мм/с (54 Дб). Это подшипники высокого качества. Во время диагностирования новых подшипников качения было выявлено, что, например, подшипник 180606 № 1 и № 5 производства одного завода имеют существенное отличие уровня вибрации. Это свидетельствует о различной квалификации специалистов или разном станочном оборудовании, используемом для изготовления подшипников. Разброс спектра фиксируется для подшипника 310 MPZ, 207 MPZ. Даже на двухрядном подшипнике 22218 можно установить различный уровень обработки поверхности колец. Но в подшипнике 22213 идеальное совпадение спектров, однако подшипник признан негодным по уровню вибрации.

Исследования возможностей объединения основных из существующих методов диагностики подшипников качения по высокочастотной вибрации показали, что такая задача может быть успешно решена даже в существующих системах диагностики, обеспечивающих спектральный анализ вибрации и огибающей ее высокочастотных составляющих, выделяемых полосовыми фильтрами.

В то же время для достижения высокой достоверности получаемых результатов диагностики в сложных условиях работы диагностируемых машин по одноразовым измерениям вибрации в алгоритмы мониторинга и диагностики должны быть включены данные измерений спектров низкочастотной и среднечастотной вибрации, а также их общие уровни.

Л и т е р а т у р а

1. Грунтович, Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учеб. пособие / Н. В. Грунтович. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2019. – 271 с. : ил. – (Высш. образование: Бакалавриат.)

УДК 621.9.01.001.5

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЗЦА

М. И. Михайлов, Н. Э. Тетерич, С. И. Воробей

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Разработаны 3D-модели резцов с различными формами опорных поверхностей режущих пластин. Приведены расчетные модели для реализации методом конечных элементов с указанием нагрузок и граничных условий. Выполнен анализ результатов исследования напряженно-деформированного состояния рабочей части резцов.